

# Технологии беспроводной передачи данных

**Беспроводная передача данных в настоящее время переживает своеобразный бум. Если с речевым обменом все в достаточной степени понятно, он нужен всем, везде и всегда, то в области беспроводной передачи данных ситуация не столь однозначна. Крупнейшие разработчики технологий и производители элементной базы лихорадочно пытаются определить тенденции развития рынка, то есть интересы потребителя. Возникают и тихо угасают технологии и связанное с ними производство компонентов. Вопросов много больше, чем ответов.**

**Владимир Дмитриев**

Сети передачи данных могут быть классифицированы следующим образом:

1. Автономные локальные сети (потоки данных территориально замкнуты в пределах предприятия, офиса, дома, квартиры).
2. Локальные сети с выходом в транспортную (первичную) сеть (часть потребителей имеет выход за пределы локальной сети, например, в Интернет).
3. Сети непосредственного доступа потребителей в транспортную сеть.

Подобная упрощенная классификация в данном случае вполне достаточна (см. рис. 1).

Современные телекоммуникационные сети строятся и оптимизируются согласно двухуровневой иерархии: магистральные транспортные сети и сети доступа, что гораздо экономичнее и удобнее для построения открытых систем и доставки интегрированных услуг. При строительстве сети до 90% всей стоимости приходится на ее нижнее звено, то есть на местную сеть, или сеть доступа. Для решения проблемы «последней мили» сегодня предложен целый ряд технологий. «Последняя миля» — это часть телекоммуникационной сети связи общего пользования, расположенная между точкой распределения ресурса первичной сети и абонентским оборудова-

нием. Кроме традиционных проводных технологий для распределения информации используются беспроводные системы абонентского доступа и ряд других технологий. Диапазон телекоммуникационных услуг, предоставляемых сейчас конечным пользователям, достаточно широк: передача данных, доступ в Интернет, телефония, интерактивное видео, связь с подвижными объектами. Каждую из услуг можно подразделить далее в соответствии с предлагаемым уровнем производительности и качества.

Типовая структура системы абонентского доступа, как правило, включает в себя сеть доступа (access network) и сеть распределения (distribution network).

Далее будем использовать следующие определения (см. рис. 1):

- **абонентский терминал (АТ)** — приемно-передающее радиоустройство небольших размеров с внутренней или внешней антенной. Оконечное пользовательское оборудование подключается непосредственно к абонентскому терминалу и через радиоканал имеет доступ к сети связи;
- **точка доступа (ТД)** — устройство, обеспечивающее связь абонентов сети доступа с телекоммуникационной (первичной) сетью доступа;
- **точка распределения (ТР)** — элемент первичной сети, обеспечивающий организацию сети распределения с точками доступа.

Термин «сеть распределения» подразумевает часть сети между точкой доступа и точкой распределения. Сеть распределения может отсутствовать, если сеть доступа начинается непосредственно от точки распределения ресурса транспортной сети. В точке доступа должна обеспечиваться реализация протоколов сети доступа при взаимодействии с абонентскими терминалами, протоколов сети общего пользования при работе с узлом коммутации, а также взаимное конвертирование этих протоколов и управление потоком данных в системе абонентского доступа. На практике эти функции выполняют маршрутизаторы (в сетях передачи данных), концентраторы и базовые станции (в сотовых сетях и системах беспроводного абонентского доступа) и некоторые другие устройства. Как для сети досту-

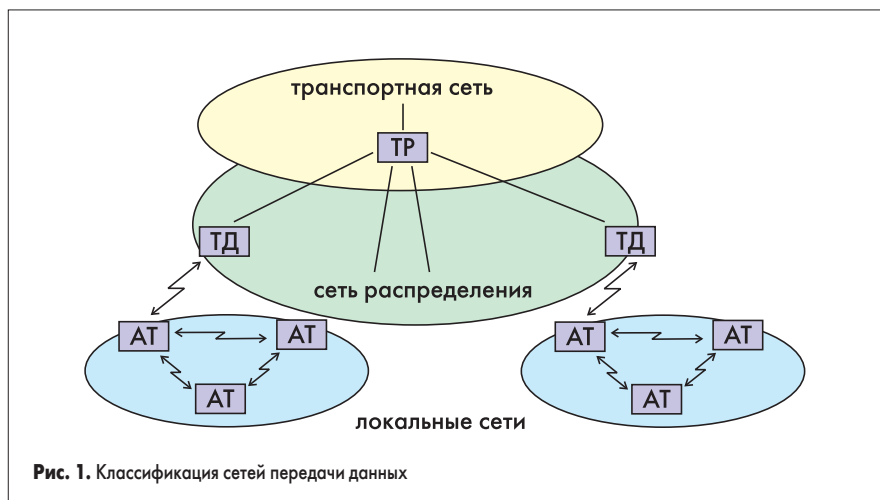


Рис. 1. Классификация сетей передачи данных

па, так и для сети распределения могут быть использованы различные технологии; можно развертывать и гибридные сети. Допустимы разнообразные конфигурации сетей, которые зависят от требуемой пропускной способности, стоимости планируемой сети, топологии, ограничений, вводимых различными регулирующими организациями и т. д.

Классификация систем беспроводного абонентского доступа (WLL (Wireless Local Loop) или RLL (Radio Local Loop)) также может быть проведена по целому ряду параметров — структуре, используемому диапазону частот, содержанию трафика и т. п.

Общепринятой классификации систем WLL на сегодняшний день не существует, однако возможна некоторая систематизация по основным характеристикам (см. табл. 1).

Таблица 1. Систематизация характеристик WLL

Признак	Параметры, типы, характеристики
Способ передачи	аналоговые, цифровые
Пользовательский тип	фиксированный доступ, мобильный доступ
Способ реализации	гибридный (частично проводной), беспроводной
Структура	сотовые, на базе РРЛ («точка – точка»), системы «точка – многоточка»
Метод множественного доступа	множественный доступ с частотным (FDMA), временным (TDMA) и кодовым (CDMA) разделением

Основное назначение систем «точка — точка» в инфраструктуре «последней мили» — это подключение локальных сосредоточенных систем связи (местной сети, учрежденческой АТС и т. д.) к корпоративным сетям, сетям связи общего пользования или телекоммуникационным узлам. Сотовые системы и системы «точка — многоточка» применяются в тех случаях, когда нужно подсоединить к узлу системы связи разрозненные группы абонентов. Существует широкое многообразие WLL-систем этих двух типов, что вынуждает классифицировать системы с сотовой структурой и структурой «точка — многоточка» по характеру их трафика. Можно выделить три основных класса таких систем:

- системы абонентского доступа к сетям передачи данных;
- системы для подключения абонентов к телефонной сети общего пользования;
- системы интегрального типа.

В свою очередь, системы абонентского доступа к сетям передачи данных можно разделить на следующие подклассы:

- системы, ориентированные на обслуживание абонентов с небольшой индивидуальной интенсивностью коротких транзакций (системы мониторинга различного назначения, платежные системы безналичного расчета и др.);
- системы, ориентированные на обеспечение доступа к сетевым информационным ресурсам (Интернет, услуги ISDN, удаленный доступ к локальным компьютерным сетям и др.).

Радиосистемы для подключения абонентов к телефонной сети общего пользования (ТФ-ОП) иногда еще называют «телефонны-

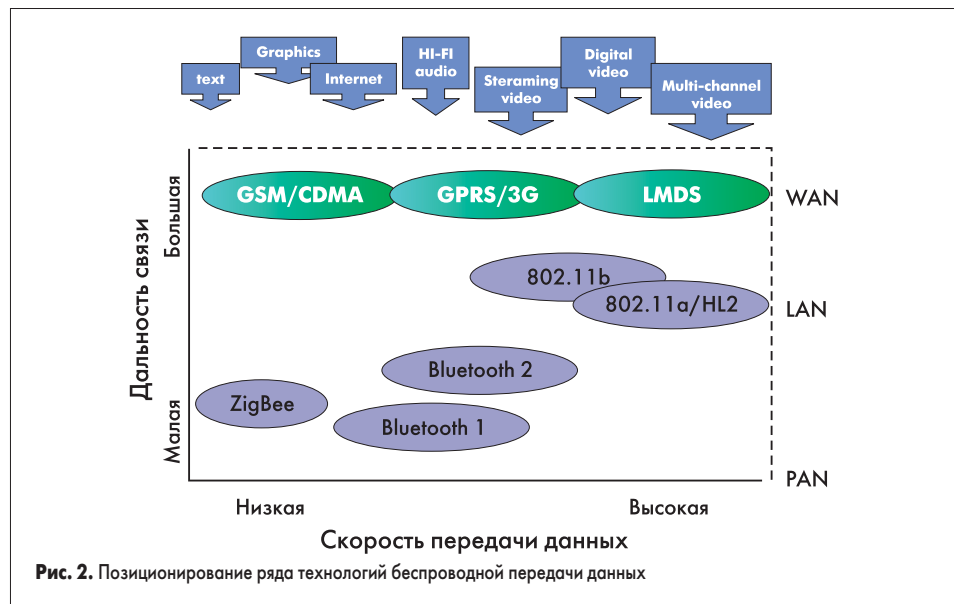


Рис. 2. Позиционирование ряда технологий беспроводной передачи данных

ми радиоудлинителями». Часто беспроводные «телефонные удлинители» предоставляют также услуги передачи данных и факсимильных сообщений.

Системы интегрального типа совмещают в себе системы первых двух типов и являются более универсальными. Кроме обеспечения телефонной связи, системы интегрального типа могут обслуживать абонентов, передающих данные и видеoinформацию. Причем абоненты, передающие данные, могут работать в широком диапазоне скоростей передачи — от 1200 бит/с до десятков и даже сотен килобит в секунду. Неотъемлемой задачей таких систем является также обеспечение доступа абонентов к услугам цифровых сетей связи с интеграцией служб (ISDN).

Если находиться в рамках катехизиса, то будем последовательно рассматривать возникающие в реальной жизни вопросы, относящиеся к беспроводной передаче данных, а затем давать на них ответы. Достаточно полное рассмотрение данной проблемы потребовало бы специальных исследований, поэтому ограничимся анализом (по-видимому, неполным) материалов зарубежной (в основном американской и европейской) скорее технической, чем научной периодики, а также отечественных журналов соответствующей ориентации, которые очень верно подмечают как новинки, так и тенденции. Не будет забыт и иноязычный Интернет с известными адресами, хотя он имеет ряд специфических особенностей.

Не вдаваясь в подробности, можно отметить, что передача данных, как один из видов связи, обладает самыми высокими требованиями к достоверности передаваемой информации. Передача файлов, например, обычно не терпит ошибок вообще.

Ответ на первый вопрос «кому нужна беспроводная передача данных?» прост — всем в той или иной степени. Одним из достоинств Голливуда (кроме спецэффектов) является тот неоспоримый факт, что он формирует общественное мнение и, с точки зрения информационных технологий, в правильном направлении. «Умный дом» (smart house) требует непрерывного наблюдения за всеми системами жизнеобеспечения, автомобиль тре-

бует того же, и так далее. Это не будущее, а реальность.

Обычно коллизия между потребителем и производителем выглядела примерно так: мне нужно это, а с другой стороны звучало — а я могу это. Сейчас картина выглядит с точностью до наоборот (если не считать вечных природных и временных технологических ограничений). Движение со стороны потребителя очевидно — больше и недорого. Но что нужно? Здесь два варианта — работа и быт. Причем оба варианта не чужды друг другу. Итак, следующий вопрос — что нужно для работы? Ответ — нужно все. Где система, там и люди. Посмотрим, что может предложить нам существующие технологии и компоненты. Для ориентации используем рис. 2, на котором изображено примерное позиционирование ряда технологий беспроводной передачи данных в координатах «дальность связи — скорость передачи».

В верхней части рисунка показаны характерные приложения данных технологий. Здесь последовательно с ростом требуемой скорости передачи размещены: передача речи, неподвижных графических изображений, низкоскоростной доступ в Интернет, беспроводная передача музыкальных произведений, потоковая передача видео, передача цифрового видео, передача многоканального видео. Дальность связи изменяется от единиц метров до единиц километров, скорость передачи данных изменяется от десятков килобит в секунду до десятков мегабит в секунду.

Варианты технологии Bluetooth 1 и Bluetooth 2 отличаются классом мощности (см. более подробно соответствующий пункт). Аббревиатура HL2 означает технологию HiperLAN2, разрабатываемую ETSI (The European Telecommunications Standards Institute — европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций). Потребительские свойства технологий HL2 и IEEE802.11a близки. На рисунке не показана технология HomeRF, которая в своем первом варианте со скоростью передачи 1,6 Мбит/с близка к Bluetooth, а в варианте HomeRF 2.0 со скоростью передачи 10 Мбит/с конкурирует с IEEE802.11b. Спра-

ва от рисунка приведены соответствующие сокращения сетевых технологий, в которых могут использоваться рассматриваемые технологии. Это: PAN (относительно новое понятие — Personal Area Network), LAN (локальные вычислительные сети), и WAN (распределенные). LMDS (Local Multipoint Distribution Service) означает сеть распределения данных (сейчас применяется в сотовых системах телевидения). В данной позиции может быть размещена и MMDS (Multipoint Multichannel Distribution Service) — многоканальная система распределения данных.

Из рисунка явно следует распределение технологий по различным потребительским нишам и наличие конкурирующих технологий, которые обычно имеют американское и европейское происхождение. Технологии, размещенные рядом друг с другом, также могут быть частично взаимозаменяемыми, то есть они скорее дополняют друг друга, чем конкурируют.

### Используемые частотные диапазоны и их регулирование

На рис. 2 отсутствует информация об используемых частотных ресурсах. Вообще говоря, для передачи данных могут использоваться как диапазоны частот, требующие государственного разрешения (а вместе с ним и оплаты лицензирования), так и нелицензируемые интервалы частот, относительно свободные для их использования. Обычно это относится к ограничению плотности электромагнитного поля в дальней зоне, которая определяется мощностью передатчика и параметрами направленности антенн. Сейчас характерным является широкое использование нелицензируемых диапазонов частот. Потенциально это неизбежно приведет (и приводит) к возникновению проблем как внутрисистемной, так и межсистемной ЭМС (электромагнитной совместимости).

К данному типу частотных ресурсов относятся ISM (Industrial, Scientific, and Medical Equipment) — диапазон частот, который предназначен для использования в нелицензируемом оборудовании (промышленном, научном, медицинском, домашнем или аналогичном), за исключением приложений в области связи. Оборудование должно генерировать и использовать радиочастотную энергию локально. В США данный диапазон включает в себя ряд интервалов:  $915,0 \pm 13$  МГц;  $2450 \pm 50$  МГц;  $5,8 \pm 0,075$  ГГц;  $24,125 \pm 0,125$  ГГц. Европейский вариант имеет некоторые отличия.

Сейчас интервал частот 2450 МГц широко используется для организации систем передачи данных на короткие расстояния (например, беспроводных локальных сетей WLAN). В России разрешено применение на вторичной основе интервала 2400–2483,5 МГц (вторичность означает невозможность применения при возникновении помех системам, использующим данный диапазон на первичной основе). В настоящее время в соответствии с решением ГКРЧ от 29.04.2002 (протокол № 18/3) «О порядке использования на терри-

тории Российской Федерации внутриофисных систем передачи данных в полосе частот 2400–2483,5 МГц» разрешается использование юридическими и физическими лицами полосы частот для организации на территории Российской Федерации внутриофисных систем беспроводной передачи данных на вторичной основе и при условии непредъявления претензий на возможные помехи от РЭС военного и гражданского назначения, а также от высокочастотных установок промышленного, научного, медицинского и бытового применения, использующих указанную полосу частот. При этом следует учитывать, что для этих систем не требуется согласований с радиочастотными органами Министерства обороны Российской Федерации и другими (при необходимости) министерствами и ведомствами России. Для получения разрешения на использование радиочастот для эксплуатации внутриофисных систем передачи данных заявитель направляет в адрес ФГУП «Главный радиочастотный центр» радиочастотную заявку по форме, указанной в приложении 1 решения ГКРЧ от 29.04.2002 (протокол № 18/3). При отсутствии замечаний по заявке ФГУП «Главный радиочастотный центр» готовит проекты разрешительных документов. После оплаты работ по экспертизе заявки заявителю выдается разрешение на использование полосы частот 2400–2483,5 МГц для эксплуатации РЭС внутриофисных систем. На основании этого документа заявитель получает в соответствующем ФГУП Радиочастотного центра федерального округа разрешение на эксплуатацию РЭС.

Интервал 5,8 ГГц совпадает с частотами, выделенными для систем U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure — нелицензируемая Национальная информационная инфраструктура), обеспечивающими быстрое развертывание систем при намного меньших затратах, чем в случае диапазонов, требующих лицензирования. В январе 1997 года Федеральная комиссия по связи (FCC) США выделила для услуг U-NII три диапазона частот суммарной шириной 300 МГц в диапазоне 5 ГГц: диапазон U-NII 1 (5,15–5,25 ГГц) и диапазон U-NII 2 (5,25–5,35 ГГц), предназначенные для локальных сетей и других приложений связи на коротких расстояниях, и диапазон U-NII 3 (5,725–5,825 ГГц) для сетей, требующих большей дальности связи. В России частоты диапазона 5,725–5,875 ГГц могут использоваться при том условии, что уровень радиопомех от источников излучений не будет превышать допустимый уровень промышленных радиопомех.

Более того, FCC заявила о необходимости изменить саму методологию распределения частотных диапазонов. Главная идея — распределять спектр динамически, так как отдельные частотные интервалы используются очень интенсивно, а другие практически свободны. Предполагается также учесть в лицензировании не только сами частоты, но и время их занятия, мощность излучения. Рекомендуются также проработать вопрос более эффективного анализа помех, установить максимальный уровень мощности передачи в зависимости

от диапазонов частот и уровня шумов. И наконец, предлагается ввести три вида лицензирования частотных ресурсов: эксклюзивное пользование, общее пользование и контролируемое пользование. На наш взгляд, такой подход вполне адекватен современности.

### Краткая характеристика технологий

Приведем краткую характеристику технологий беспроводной передачи данных, а затем осуществим их сравнительный анализ. Традиционно в данной области телекоммуникаций (и не только здесь) конкурируют американские стандарты IEEE, европейские стандарты ETSI и фирменные стандарты.

Технология ZigBee продвигается организацией ZigBee Alliance, ставящей своей целью обеспечение верхних слоев семиуровневой модели стеком протоколов (от сетевого уровня до уровня приложений), включая профили приложений и инженерную реализацию компонентов данной технологии. К разработке соответствующего стандарта низкоскоростной передачи данных подключился комитет IEEE 802.15.4, разрабатывающий уровни MAC (управление доступом к среде передачи — media access control) и PHY (уровень передачи сигналов в физической среде) семиуровневой модели. Именно первый, физический уровень (PHY) в основном определяет стоимость системы, скорости передачи данных, потребляемую мощность, габариты и диапазон используемых частот.

Назначение данной технологии — обеспечить компонентами системы автоматизации и дистанционного управления различного назначения. При этом для АТ была поставлена цель обеспечения их автономным батарейным питанием двумя элементами типа АА в течение времени от полугода до двух лет. Варианты применения устройств, построенных на основе данной технологии: беспроводные системы обеспечения безопасности жилища от несанкционированного проникновения в них; удаленное управление кондиционерами, системой освещения помещений и оконными жалюзи; управление какими-либо устройствами инвалидами, пожилыми людьми и детьми; универсальное управление аудио- и видеоустройствами; беспроводные клавиатура, мышь ПК, пульт управления игровой приставкой; беспроводные детекторы задымления и наличия СО; автоматизация и управление элементами промышленных и жилых помещений (освещением и т. п.).

Предусматривается разработка шлюзов для взаимодействия данных систем с другими сетями передачи данных.

Используемые частоты: ISM (2,4 ГГц со скоростью 250 кбит/с), европейский диапазон 868 МГц (20 кбит/с) и американский диапазон 915 МГц (40 кбит/с).

Технология Bluetooth — это технология передачи данных по радио на малые расстояния (до 10 м, с возможностью расширения до 100 м), позволяющая осуществлять связь беспроводных телефонов, компьютеров и различной периферии, не требуя прямой видимости. По мощности радиопередатчика аппа-



ратура делится на три класса: первый (максимальная выходная мощность 100 мВт), второй (2,5 мВт) и третий (1 мВт).

Разработку технологии начала компания Ericsson Mobile Communications. Первоначальной ее целью было получение нового радиointерфейса с низким уровнем энергопотребления и невысокой стоимостью, который позволил бы устанавливать связь между сотовыми телефонами и гарнитурами. Кроме того, новый интерфейс предназначался для передачи данных между ПК, между ПК и его периферией, между ноутбуком и сотовым телефоном и т. п.

В феврале 1998 года. Ericsson совместно с Intel, IBM, Toshiba и Nokia сформировали специальную группу по разработке и продвижению технологии под названием Bluetooth SIG (Special Interest Group). Эта технология полностью открыта, а поэтому любая компания, подписавшая лицензионное соглашение, может войти в состав Bluetooth SIG и начать создавать продукты на ее основе.

Семейство стандартов IEEE 802.11x разрабатывается американским институтом IEEE. Стандарт IEEE 802.11, разработка которого была завершена в 1997 г., является базовым стандартом и определяет протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей (WLAN). Основные из них — протокол управления доступом к среде MAC (нижний подуровень канального уровня) и протокол PHY передачи сигналов в физической среде. В качестве последней допускается использование радиоволн и инфракрасного излучения. Стандартом 802.11 определен единственный подуровень MAC, взаимодействующий с тремя типами протоколов физического уровня, соответствующих различным технологиям передачи сигналов — по радиоканалам в диапазоне 2,4 ГГц с широкополосной модуляцией с прямым расширением спектра (DSSS) и ППРЧ (FHSS), а также с помощью инфракрасного излучения. Спецификациями стандарта предусмотрены два значения скорости передачи данных — 1 и 2 Мбит/с. По сравнению с проводными ЛВС Ethernet-возможности подуровня MAC расширены за счет включения в него ряда функций, обычно выполняемых протоколами более высокого уровня, в частности, процедур фрагментации и ретрансляции пакетов. Это вызвано стремлением повысить эффективную пропускную способность системы благодаря снижению накладных расходов на повторную передачу пакетов.

В качестве основного метода доступа к среде стандартом 802.11 определен механизм CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — множественный доступ с обнаружением несущей и предотвращением столкновения пакетов).

**Управление питанием.** Для экономии энергоресурсов мобильных рабочих станций, используемых в беспроводных ЛВС, стандартом 802.11 предусмотрен механизм переключения станций в так называемый пассивный режим с минимальным потреблением мощности.

**Архитектура и компоненты сети.** В основу стандарта 802.11 положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной,

так и нескольких ячеек. Каждая сота управляется базовой станцией, являющейся ТД, которая вместе с находящимися в пределах радиуса ее действия рабочими станциями пользователей образует базовую зону обслуживания. Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой через распределительную систему, представляющую собой эквивалент магистрального сегмента кабельных ЛВС. Вся инфраструктура, включающая точки доступа и распределительную систему, образует расширенную зону обслуживания. Стандартом предусмотрен также односотовый вариант беспроводной сети, который может быть реализован и без точки доступа, при этом часть ее функций выполняются непосредственно рабочими станциями.

**Роуминг.** Для обеспечения перехода мобильных рабочих станций из зоны действия одной точки доступа к другой в многосотовых системах предусмотрены специальные процедуры сканирования (активного и пассивного прослушивания эфира) и присоединения (Association), однако строгих спецификаций по реализации роуминга стандарт 802.11 не предусматривает.

**Обеспечение безопасности.** Для защиты WLAN стандартом IEEE 802.11 предусмотрен целый комплекс мер безопасности передачи данных под общим названием Wired Equivalent Privacy (WEP). Он включает средства противодействия несанкционированному доступу к сети (механизмы и процедуры аутентификации), а также предотвращение перехвата информации (шифрование).

Сейчас наибольшее распространение получил стандарт IEEE 802.11b. Благодаря высокой скорости передачи данных (до 11 Мбит/с), практически эквивалентной пропускной способности обычных проводных ЛВС Ethernet, а также ориентации на диапазон 2,4 ГГц, этот стандарт завоевал наибольшую популярность у производителей оборудования для беспроводных сетей. В окончательной редакции стандарт 802.11b, известный так же, как Wi-Fi (Wireless Fidelity), был принят в 1999 году. В качестве базовой радиотехнологии в нем используется метод DSSS с 8-разрядными последовательностями Уолша. Поскольку оборудование, работающее на максимальной скорости 11 Мбит/с, имеет меньший радиус действия, чем на более низких скоростях, стандартом 802.11b предусмотрено автоматическое понижение скорости при ухудшении качества сигнала. Как и в случае базового стандарта 802.11, четкие механизмы роуминга спецификациями 802.11b не определены. Дальнейшим развитием семейства IEEE 802.11x явился стандарт IEEE 802.11a, который предусматривает скорость передачи данных до 54 Мбит/с (редакцией стандарта, утвержденной в 1999 году, определены три обязательных скорости — 6, 12 и 24 Мбит/с и пять необязательных — 9, 18, 36, 48 и 54 Мбит/с). В отличие от базового стандарта, ориентированного на область частот 2,4 ГГц, спецификациями 802.11a предусмотрена работа в диапазоне 5 ГГц. В качестве метода модуляции сигнала выбрано ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM). Наиболее су-

щественное различие между этим методом и радиотехнологиями DSSS и FHSS заключается в том, что OFDM предполагает параллельную передачу полезного сигнала одновременно по нескольким частотам диапазона, в то время как технологии расширения спектра передают сигналы последовательно. В результате повышается пропускная способность канала и качество сигнала. К недостаткам 802.11a относятся более высокая потребляемая мощность радиопередатчиков для частот 5 ГГц, а также меньший радиус действия (оборудование для 2,4 ГГц может работать на расстоянии до 300 м, а для 5 ГГц — около 100 м).

Для полноты рассмотрения возможностей семейства IEEE802.11x представим краткую характеристику ряда других стандартов и их спецификаций. Стремись расширить географию распространения сетей стандарта 802.11, IEEE разрабатывает универсальные требования к физическому уровню 802.11 (процедуры формирования каналов, псевдослучайные последовательности частот и т. д.). Соответствующий стандарт 802.11d пока находится в стадии разработки. Спецификации другого разрабатываемого стандарта 802.11e позволяют создавать мультисервисные беспроводные ЛС, ориентированные на различные категории пользователей, как корпоративных, так и индивидуальных. При сохранении полной совместимости с уже принятыми стандартами 802.11a и 802.11b он позволит расширить их функциональность за счет поддержки потоковых мультимедиа-данных и гарантированного качества услуг (QoS). Спецификации 802.11f описывают протокол обмена служебной информацией между точками доступа (Inter-Access Point Protocol, IAPP), что необходимо для построения распределенных беспроводных сетей передачи данных. Рабочая группа IEEE 802.11h рассматривает возможность дополнения существующих спецификаций 802.11 MAC и 802.11a PHY алгоритмами эффективного выбора частот для офисных и уличных беспроводных сетей, а также средствами управления использованием спектра, контроля излучаемой мощности и генерации соответствующих отчетов. Предполагается, что решение этих задач будет базироваться на использовании протоколов Dynamic Frequency Selection (DFS) и Transmit Power Control (TPC), предложенных ETSI. Указанные протоколы предусматривают динамическое реагирование клиентов беспроводной сети на интерференцию радиосигналов путем перехода на другой канал, снижения мощности либо обоими способами.

Спецификации стандарта IEEE 802.11i позволят расширить возможности протокола 802.11 MAC, предусмотрев средства шифрования передаваемых данных, а также централизованной аутентификации пользователей и рабочих станций. В результате масштабы беспроводных локальных сетей можно будет наращивать до сотен и тысяч рабочих станций. В основе стандарта лежит протокол аутентификации Extensible Authentication Protocol (EAP), базирующийся на PPP. Сама процедура аутентификации предполагает участие в ней трех сторон — вызывающей (клиента), вызываемой (точки доступа) и сервера



аутентификации (как правило, сервера RADIUS). В то же время новый стандарт, судя по всему, оставит на усмотрение производителей реализацию алгоритмов управления ключами. Разрабатываемые средства защиты данных должны найти применение не только в беспроводных, но и в других локальных сетях — Ethernet и Token Ring. Поэтому будущий стандарт получил номер IEEE 802.1X, а его разработку группа 802.11i ведет совместно с комитетом IEEE 802.1.

Спецификации стандарта 802.11g, находящиеся сейчас в стадии рассмотрения, представляют собой развитие стандарта 802.11b и позволяют повысить скорость передачи данных в беспроводных ЛВС до 22 Мбит/с (а возможно, и выше) благодаря использованию более эффективной модуляции сигнала. Из нескольких предложений по базовой радиотехнологии для данного стандарта рабочая группа IEEE недавно выбрала решение компании Intersil, основанное на методе OFDM. Одним из достоинств будущего стандарта является обратная совместимость с 802.11b.

Спецификации стандарта 802.11j будет оговаривать существование в одном диапазоне сетей стандартов 802.11a и HiperLAN2.

Нельзя не упомянуть деятельность IEEE в области технологий LMDS и MMDS (правый верхний угол рис. 2). Местные и многоканальные многоточечные распределительные системы LMDS и MMDS (которые называют также «сотовым телевидением» и «беспроводным КТВ»), первоначально предназначавшиеся для трансляции телепрограмм в районах, не имеющих кабельной инфраструктуры, в последнее время все чаще используются для организации широкополосной беспроводной передачи данных на «последней миле». Радиус действия передатчиков MMDS, работающих в диапазоне 2,1–2,7 ГГц, может достигать 40–50 км, в то время как максимальная дальность передачи сигнала в системах LMDS, использующих значительно более высокие частоты в области 27–31 ГГц, составляет 2,5–3 км. Массовому распространению этих систем до сих пор мешало отсутствие промышленных стандартов и, как следствие, несовместимость продуктов разных производителей. В начале 2000 года для изучения различных решений и выработки единых правил построения систем широкополосной беспроводной связи в IEEE был создан рабочий комитет

802.16. Первоначально он сосредоточился на вопросах стандартизации систем LMDS диапазона 28–30 ГГц, однако вскоре полномочия комитета были распространены на область частот от 2 до 66 ГГц и в его составе образовано несколько рабочих групп. Группа 802.16.1 разрабатывает спецификации радиointерфейса для систем, использующих диапазон 10–66 ГГц. Рабочая группа 802.16.2 занимается вопросами «сосуществования» сетей фиксированного широкополосного доступа в нелицензируемых диапазонах 5–6 ГГц (в частности, с беспроводными ЛС на базе стандарта 802.11a). Наконец, группа 802.16.3 готовит спецификации радиointерфейса для лицензируемых систем диапазона 2–11 ГГц. Главной целью создания этой группы стало содействие ускоренному развертыванию систем MMDS путем предоставления производителям возможности создавать совместимые продукты на основе единого стандарта.

Стандарты разрабатываются на базе единой эталонной модели, объединяющей интерфейсы трех типов в тракте связи между абонентскими устройствами или сетями (например, ЛВС или учрежденческими АТС) и транспортной сетью (ТФОП или Интернет). Первый радиointерфейс определяет взаимодействие абонентского приемо-передающего узла с базовой станцией, второй включает в себя два компонента, охватывающие обмен сигналами между радиоузлами и «находящимися за ними» сетями — абонентской и транспортной (в детальной проработке спецификаций этого интерфейса участвуют и другие комитеты IEEE). Спецификации третьего, дополнительного радиointерфейса определяют использование повторителей или отражателей для увеличения зоны охвата системы и обхода препятствий на пути распространения сигнала.

Комитетом 802.16 уже приняты предварительные спецификации радиointерфейсов систем диапазона 10–66 ГГц, использующих технологии доставки сигнала с одной несущей. Стандарт 802.16a определяет для систем диапазона 2–11 ГГц оба метода передачи сигнала — с одной несущей и OFDM, а стандарт 802.16b для диапазона 5–6 ГГц определяет технологию OFDM.

Европейским «ответом» созданию американских стандартов явилась разработка технологии HiperLAN2 (High Performance Radio LAN), которая обещает стать основным конкурентом

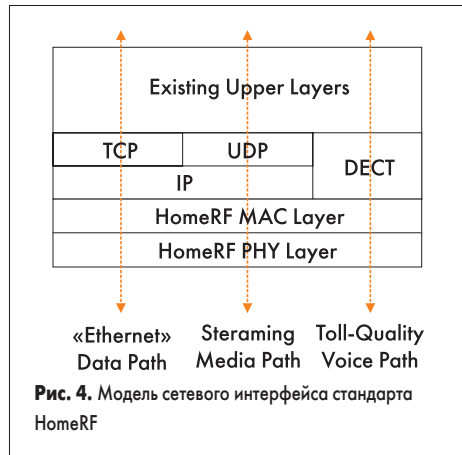
технологий беспроводных ЛС 802.11. Инициаторами и активными сторонниками нового стандарта являются компании Nokia и Ericsson. Так же, как и 802.11a, стандарт HiperLAN2 ориентирован на работу в диапазоне 5 ГГц и способен обеспечить скорость передачи данных до 54 Мбит/с. Оба стандарта используют сходные методы модуляции сигнала на основе мультиплексирования с ортогональным разделением частот (OFDM), однако имеют различные спецификации протоколов доступа к среде MAC. Если для 802.11a он аналогичен Ethernet, то в HiperLAN2 больше напоминает ATM. Другим отличием HiperLAN2 от 802.11a, которое может дать ему некоторое преимущество над конкурентом, стала поддержка трафика мультимедиа и QoS (802.11a ориентирован в основном на передачу данных). По информации ETSI, разработка стандарта ведется с учетом совместимости оборудования с системами 802.11a.

Американская технология HomeRF ориентирована на создание «домашней мультимедийной среды», объединяющей в себе каналы передачи данных, телефонии, аудио- и видеoinформации, возможно в перспективе телеметрии охранных систем и систем жизнеобеспечения. Кроме того, технология позволяет обеспечить выход в Интернет с достаточно большой скоростью. Отсюда и предъявляемые требования к технологии: низкая стоимость, малое энергопотребление (особенно для портативных устройств), уменьшенные габариты, простота технической и программной инсталляции. Структура домашней мультимедийной сети, построенной по технологии HomeRF, представлена на рис. 3. В качестве мобильных терминалов могут выступать персональные компьютеры, беспроводные телефонные трубки, гарнитуры. Точка доступа (на рисунке обозначенная как базовая станция) обеспечивает проводную связь с Интернетом.

Технология использует диапазон рабочих частот 2,4 ГГц, применяется адаптивная ППРЧ с числом скачков 50–100 в секунду. Первый вариант стандарта обеспечивал пиковую скорость передачи данных до 1,6 Мбит/с и типичную дальность связи до 50 м. Второе поколение HomeRF 2.0 позволяет передавать данные со скоростью до 10 Мбит/с. Оба варианта характеризуются в настоящее время малым потреблением мощности абонентскими терминалами в режиме ожидания при наличии связности по протоколу TCP/IP (менее 10 мВт в режиме «on line»). Третье поколение технологии обеспечит скорость передачи до 20 Мбит/с.

Спецификации, описывающие сетевой интерфейс, относятся к двум нижним слоям семиуровневой модели OSI (Open Systems Interconnection) (см. рис. 4).

Второй уровень (управление передачей данных — data link control, DLC) в данном случае определяет управление доступом к среде передачи (MAC) и обеспечивает особенности передачи речи или приоритетных данных, безопасность связи, роуминг и соответствие верхним уровням модели. Параметры обоих нижних уровней в данном стандарте совместно оптимизированы для обеспечения заданных требований по внутри- и внесистемной ЭМС.



Технология HomeRF обеспечивает три типа передачи данных (см. рис. 4):

- асинхронный, без установления соединения типа «передача данных пакетами» (или «беспроволочный Ethernet») на основе протокола TCP/IP («Ethernet» Data Path);
- распределенный по приоритетам — сеансовая передача мультимедийных данных на основе UDP/IP (Streaming Data Path);
- изохронная, дуплексная, симметричная, двусторонняя передача для ведения телефонных переговоров в соответствии с DECT-протоколом (Toll Quality Voice Path).

Временной домен построен таким образом, что в пределах временного интервала (10 или 20 мс) первыми передаются приоритетные данные (всего возможно наличие до восьми уровней приоритета). Последняя часть основной длительности домена предназначена для передачи сигналов речевого обмена и делится на соответствующее число слотов фиксированной длины. Передача речи организуется на основе протоколов верхнего уровня стандарта DECT. Более того, в технологии HomeRF непосредственно применяются технические решения производителей оборудования DECT. Важным является то, что чем меньше речевой обмен, тем выше скорость передачи данных. В зависимости от величины речевого трафика 10 или 20 мс длительности временного домена отводится для передачи асинхронного трафика. Одновременно может осуществляться передача до восьми потоков пакетов, при этом очередность передачи определяется заданным приоритетом. Однако, если число потоков меньше восьми, резервирование пакетов (задержка передачи) отсутствует. Последняя часть домена обеспечивает передачу потерянных речевых пакетов на другой частоте, что уникально в данной технологии и позволяет обеспечить качество передачи речи, соответствующее проводной связи.

**Сравнение ряда технологий**

Начнем с левого нижнего угла рисунка и сравним между собой технологии Bluetooth и ZigBee. Результаты сравнительного анализа представлены в виде табл. 2.

Примечания:

1. Скорость передачи в радиолнии, использующей дискретные, например, цифровые сигналы, измеряется в бодах, что соответствует числу дискретных изменений па-

раметров сигнала в единицу времени. Иногда данный параметр называют технической скоростью передачи, так как он характеризует работу модема радиолнии. Информационная скорость передачи измеряется в битах или байтах, передаваемых в единицу времени, и характеризует производительность источника информации. Потребителя интересует «битовая» скорость передачи, а производитель реализует ее с помощью конкретного модема. Отсюда следует расхождение в значениях данных параметров для одной и той же радиолнии.

2. Абонентские терминалы могут находиться в трех режимах: активном (ведется передача), в режиме дежурного приема (терминал готов к немедленной передаче) и режиме «сна», из которого терминал выходит лишь периодически и достаточно долго. Последний режим резко уменьшает энергопотребление абонентского терминала.

Теперь сравним между собой технологии HomeRF и IEEE802.11x. В качестве показателей соответствия рассматриваемых технологий решаемым задачам примем следующее: стоимость, качество речевого обмена, поддержку мультимедийного обмена, скорость передачи данных, дальность связи, потребляемую мощность, массо-габаритные параметры, топологию сети, внешнюю ЭМС, внутреннюю ЭМС, защиту от перехвата и наличие роуминга вне помещения. Технологии будем сравнивать по абсолютным показателям данных параметров.

**Стоимость.** Более низкая сложность дает HomeRF преимущество по стоимости перед IEEE802.11. В ближайшие несколько лет при одинаковых объемах производства HomeRF будет иметь преимущество по параметру BOM (Bill of Materials) не менее чем с коэффициентом 2.

**Качество речевого обмена.** Технология HomeRF обеспечивает многоканальный речевой обмен с показателями качества, соответствующими проводной связи, а технология IEEE802.11 явно не удовлетворяет современным требованиям. В данном аспекте HomeRF ориентируется на стандарт DECT с его проверенной технологией. IEEE802.11 вообще не ориентирован на речевой обмен, для обеспечения которого необходимо использование специальных дополнительных устройств. Однако и в этом случае передача речи не защищена от внешних воздействий. В наличии и такой недостаток, как несовместимость с технологией DECT.

**Поддержка мультимедийного обмена.** Технология HomeRF поддерживает независимую от речевого обмена многонаправленную мультимедийную передачу с несколькими приоритетами доступа. IEEE802.11b и IEEE802.11a позволяют передавать данные с большой скоростью, однако при наличии значительного трафика асинхронных данных на сети возможны нежелательные последствия. Данную проблему решает группа разработчиков IEEE802.11e путем совершенствования уровня MAC. Имеются наработки частных компаний в данном направлении, но это «уже не технология IEEE802.11».

**Таблица 2.** Сравнение технологий Bluetooth и ZigBee

Bluetooth	ZigBee
Назначение	
Для построения сетей связи динамической структуры (постоянно добавляются новые элементы и выходят из сети имеющиеся, конфигурация топологии сети изменяется)	Сети передачи данных со статической структурой (топология сети длительное время постоянна, номенклатура элементов изменяется редко)
Беспроводная передача звуковых сигналов (речи)	Большое число оконечных устройств
Передача неподвижной графики и изображений	Большая длительность периода обращения главной станции сети к оконечным устройствам
Передача файлов	Передача пакетов данных небольшой величины
Отличия радиоинтерфейсов	
Программная перестройка радиочастоты (FHSS)	Прямое расширение спектра (DSSS)
Скорость передачи: 1 МБод, пиковая скорость передачи данных ~ 720 кбит/с	Скорость передачи: 62,5 кБод, 4 бит/символ, пиковая скорость передачи данных ~ 128 кбит/с
Энергопотребление	
Организовано аналогично мобильному телефону (регулярная подзарядка)	2+ года от пары батареек типа AAA
Обеспечивает максимальную производительность сети данной структуры	Оптимизировано для режима «сна» оконечного устройства
Временные параметры протоколов	
Оптимизированы для работы сети в критических ситуациях:	
Время «прописки» нового оконечного устройства в сети не менее 3 с	Время «прописки» нового оконечного устройства в сети 30 мс
Время перехода оконечного устройства из режима сна в активный режим 3 с	Время перехода оконечного устройства из режима сна в активный режим 15 мс
Время доступа главной станции к активному оконечному устройству 2 мс	Время доступа главной станции к активному оконечному устройству 15 мс
Особенности реализации	
Низкая стоимость расширения сети	Минимальная стоимость оконечных устройств
Расширенная программная поддержка за счет возможностей ПК	Минимальное программное обеспечение и недорогой процессор (80C51)
Реализация возможностей протоколов IEEE802.11x при наличии упрощенного радиооборудования	Отсутствие необходимости поддержки работы оконечного устройства со стороны ПК
	Ориентация на производство интегрированных чипов для различных приложений



**Скорость передачи данных.** HomeRF и IEEE802.11 обеспечивают необходимую для высокоскоростной системы скорость передачи, но для HomeRF его дальнейшее развитие до скоростей порядка 20 Мбит/с не связано с такими глобальными проблемами, как для IEEE802.11 (переход в новый диапазон частот). IEEE802.11b также развивается в направлении увеличения скорости передачи данных до 20 Мбит/с с сохранением обратной совместимости (группа разработки IEEE802.11g), однако предлагаемые решения приводят к нарушению существующих правил использования диапазона 2,4 ГГц. Скорее успеха добьется IEEE802.11a, но она не обладает совместимостью с существующей IEEE802.11b.

**Дальность связи.** IEEE802.11 первоначально была рассчитана на работу при отсутствии внешних мешающих воздействий, в то время как HomeRF разработана для условий сложной электромагнитной обстановки.

**Потребляемая мощность.** Технология HomeRF оптимизирована для низкого энергопотребления АТ в режиме ожидания. То же относится и к активной фазе работы устройств.

**Массо-габаритные параметры.** Техника HomeRF имеет значительно более простое устройство портативных компонентов. Для IEEE802.11 также широко применяются PC Card (или PCMCIA Card), однако наименьшие параметры соответствуют Compact Flash Card, которая пока может использоваться только в HomeRF.

**Топология сети.** Технология HomeRF одновременно поддерживает взаимодействие элементов иерархической сети и элементов одноуровневой сети. Иерархическая структура идеальна для высококачественной передачи речи и интернет-приложений типа webcasting. Одноуровневая структура удобна при эффективном распределении ресурсов сети (например, для доступа к обслуживаемому прибору). Bluetooth — по существу система типа «точка — многоточка». Это эффективно в сети «главный компьютер/сеть пользователей» (особенно с учетом того, что главный элемент может не определяться заранее). Однако данный факт изначально определяет неэффективное использование «пропускной способности системы» в целом. Варианты стандарта IEEE802.11 могут функционировать в обоих типах сетей (PCF — Point Coordination Function или DCF — Distributed Coordination Function), но не одновременно в обоих. Существующие изделия варианта IEEE802.11b функционируют только в DCF. Уменьшение потребляемой мощности и реализацию приоритетной передачи данных можно достичь в более сложной и дорогой PCF. Исследовательская группа IEEE802.11e активно изучает вопросы развития PCF на основе изменения уровня MAC, что может в корне изменить развитие технологии варианта IEEE802.11b в направлении потоковой передачи данных. Дополнительной сложностью при решении данной задачи является обеспечение роуминга потребителей.

**Внешняя ЭМС.** HomeRF был изначально разработан, чтобы успешно противодействовать внешнему вмешательству в диапазоне 2,4 ГГц. Для сохранения высокого качества речевого обмена в условиях воздействия внесис-

темных помех предусмотрена особая технология повторной передачи пораженных речевых пакетов. В отсутствие предельного трафика речевого обмена обеспечивается качественная передача потоков данных на основе использования ПППЧ. К настоящему времени стандарт IEEE802.11b исследован гораздо больше на предмет эффекта воздействия нежелательных излучений, хотя имеющиеся данные во многом противоречивы. Так, например, большинство пользователей не обращает внимания на уменьшение на 10–40% скорости передачи устройства, находящегося рядом с микроволновой печью. Большой проблемой для сетей IEEE802.11 являются существенные флуктуации качества передачи речи при значительном объеме передачи данных (внутренняя перегрузка сети). Вариант IEEE802.11a «не зависит» от интерференционных проблем сегодня только потому, что в настоящее время диапазон 5 ГГц относительно свободен, однако в перспективе его подстерегают те же проблемы.

**Внутренняя ЭМС.** Цель разработки IEEE802.11 — эффективная организация ЛВС на одном большом предприятии, а не на многих малых, размещенных рядом друг с другом. Оптимизировалась производительность системы в целом, а не одного или группы пользователей. При обнаружении излучения (даже с уровнем ниже мешающего) устройство перестает работать в сети, и две реально не мешающие друг другу сети перестают функционировать. Технология HomeRF потенциально лишена этого недостатка.

**Защита от перехвата.** Рассматриваемые стандарты являются цифровыми и использование стандартных процедур шифрования и аутентификации защищают их на бытовом уровне от радиоперехвата. Однако от специальных систем они не имеют достаточной защиты. Проведенные исследования показали вскрываемость системы защиты IEEE802.11b и возможность подключения устройства пользователя к внешней сети для несанкционированного доступа к его информации или ввода в него дезинформации даже без определения шифроключа. HomeRF обеспечивает лучшую защиту на логическом уровне.

**Роуминг вне помещения.** Обеспечивается обоими стандартами.

Интегральный вывод из проведенного анализа целого ряда технологий следующий: каждая технология разработана для своей цели. Стандарт IEEE802.11 рассчитан на использование в сфере бизнеса. Технология HomeRF предназначена для создания домашней мультимедийной сети с широкополосным доступом пользователей к Интернету. Bluetooth обеспечивает беспроводную связь в подвижных (транспортных) системах и в помещениях небольшого объема. ZigBee является стандартом для создания технологических сетей обмена телеметрией и командами управления.

В настоящее время преодолеть разногласия отдельных групп разработчиков и производителей технологий передачи данных не удалось. Удастся ли создать единую технологическую платформу для передачи данных? Пока что решение этой задачи не очевидно. ■